

**Розробка та дослідження середньотемпературного двофазного пристрою для реалізації технології утилізації теплоти викидних потоків газоперекачувальних агрегатів магістральних газопроводів**

**Разработка и исследование среднетемпературного двухфазного устройства для реализации технологии утилизации теплоты выбросных потоков газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов**

**Development and research of the two-phase medium-temperature thermosyphon for the implementation of the waste streams heat recovery in the pumping units of the gas pipeline.**

**1. Номер державної реєстрації теми - 0113U001591, НТУУ «КПІ» - 2636-п.**  
**2. Науковий керівник -** к.т.н., с.н.с. Хайрнасов С.М., Хайрнасов С.М., Khairnasov Sergii M.

**3. Суть розробки, основні результати.**  
**(укр.)**

На газових магістралях України газоперекачувальні агрегати працюють з великими тепловими викидами (до 20 МВт) високої температури (300 °С і більше) і, одночасно, потребують значних витрат електроенергії на привід обладнання самих газоперекачувальних станцій. Утилізація високотемпературних потоків від газоперекачувальних агрегатів та перетворення викидної теплоти в електричну енергію можливо за допомогою термоелектричних генераторів. Для ефективного використання термоелектричних генераторів, потрібен засіб сприйняття та передачі їм теплоти від гарячих газів, а також забезпечення ізотермічності поверхні їх гарячих та холодних спаїв. Проблема підвищення економічності роботи газоперекачувальних станцій магістральних газопроводів була вирішена використанням теплопередаючого двофазного пристрою (середньотемпературного термосифона).

Встановлення значень коефіцієнтів теплообміну в зоні нагріву та конденсації замкнених двофазних теплопередаючих пристроїв з середньотемпературним теплоносієм, визначення їх величини максимального теплового потоку, що передається, і величини термічного опору між зоною нагріву та конденсації та їх залежності від теплотехнічних робочих параметрів пристрою дозволили створити макет середньотемпературного термосифона з теплоносієм DOWTHERM для установки утилізації теплоти відпрацьованих потоків газів з температурою від 300°С до 400°С.

Виконаний об'єм робіт дозволив створити новий тип установки для утилізації теплоти викидних потоків газів з використанням середньотемпературного термосифону та термоелектричних генераторів. За результатами роботи було розроблено та виготовлено макет модулю установки на основі одного термосифону, а також проведені його теплотехнічні випробування для встановлення основних робочих параметрів. Використання теплоутилізаційної установки на основі 60 середньотемпературних двофазних пристроїв та загальному ККД 4% додатково дозволяє отримати електроенергію до 61 320 кВт·годин, що може забезпечити економію газу у розмірі 6586 м<sup>3</sup> та відповідає скороченню парникових викидів на 92 тони CO<sub>2</sub>.

**(рос.)**

На газовых магистральных Украины газоперекачивающие агрегаты работают с большими тепловыми выбросами (до 20 МВт) высокой температуры (300 °С и более) и, одновременно, требуют значительных затрат электроэнергии на привод оборудования самих газоперекачивающих станций. Утилизация высокотемпературных потоков от газоперекачивающих агрегатов и преобразования уходящей теплоты в электрическую энергию можно с помощью термоэлектрических генераторов. Для эффективного использования термоэлектрических генераторов, нужен способ восприятия и передачи им теплоты от горячих газов, а также обеспечение изотермичности поверхности их горячих и холодных спаев. Проблема повышения экономичности работы газоперекачивающих

станций магистральных газопроводов была решена использованием теплопередающего двухфазного устройства (среднетемпературного термосифона).

Определение значений коэффициентов теплоотдачи в зоне нагрева и конденсации замкнутых двухфазных теплопередающих устройств с среднетемпературным теплоносителем, определения их величины максимального передаваемого теплового потока и величины термического сопротивления между зоной нагрева и конденсации, а также их зависимости от теплотехнических рабочих параметров устройства позволили создать макет среднетемпературного термосифона с теплоносителем DOWTHERM для установки утилизации теплоты отработанных потоков газов с температурой от 300°C до 400°C.

Выполненный объем работ позволил создать новый тип установки для утилизации теплоты выхлопных потоков газов с использованием среднетемпературного термосифона и термоэлектрических генераторов. По результатам работы был разработан и изготовлен макет модуля установки на основе одного термосифона, а также проведены его теплотехнические испытания для установки основных рабочих параметров. Использование теплоутилизационной установки на основе 60 среднетемпературных двухфазных устройств и общем КПД 4% дополнительно позволит получать электроэнергию в 61320 кВт • ч, что может обеспечить экономию газа в размере 6586 м<sup>3</sup> и соответствует сокращению парниковых выбросов на 92 тона CO<sub>2</sub>.

**(англ.)**

Gas compressor units operate with large thermal emissions (up to 20 MW), high temperature (300 ° C or more) and, at the same time, they require a considerable amount of electricity for the maintenance of the own pumping stations equipment of the Ukrainian gas pipeline. Recycling streams from the high pumping units and outgoing heat conversion into electric energy can be carried out using thermoelectric generators. Way of receiving and heat transfer from the hot gases and provide isothermal surface of the hot and cold junctions of the thermoelectric generators is needed for effective use of them. The problem of increasing the efficiency of the pumping stations of main gas pipelines was solved by using a two-phase heat transfer device (medium-temperature thermosyphon).

Determination of the coefficients of heat transfer values in the heating and condensation zones of the closed two-phase heat transfer device with medium coolant temperature, and determination the maximum value of the transmitted and magnitude heat fluxes, determination the thermal resistance between the heating and condensation zones, as well as their dependence on the operating parameters of the thermal device has allows to create a specimen of medium-temperature thermosyphon with the DOWTHERM working fluid for the heat recovery installation with temperature of a waste gas from 300 °C to 400 °C.

The performed amount of this work allows to create the new type installation for heat recovery of exhaust gas based on medium-temperature thermosyphons and thermoelectric generators. According to the results of work has been designed and manufactured mock-up of the installation module base on the one thermosyphon, and heat engineering tests for his basic operating parameters were carried out. The use of such heat recovery units based on 60 medium-temperature thermosyphons with general efficiency of 4% will be allow to obtain additional electricity to 61,320 kW • h, which could save natural gas at a rate of 6586 m<sup>3</sup>. It's corresponds to a reduction of greenhouse gas emissions by 92 tones of CO<sub>2</sub>.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- патент України на корисну модель №816886 МПК (2013.01) F21S 8/00, F21V 7/00, F21V 29/00. Світлодіодний освітлювальний пристрій // Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» / Ю.Є. Ніколаєнко, Б.М. Рассмакін Б.М., С.М. Хайрмасов. – 8 с.; Опубл. 10.07.2013. Бюл. №13 Заявка у 2013 00093 від 02.01.2013 р.

- australian New Innovation Patent Application No 2014100354 // Combined Photovoltaic-Thermal Solar Collector / Yakov Elgart, Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Michel Dusheiko, Andrii Rassamakin and Genadii Frolov. - 7 p.; 10.04.2014.

- патент Российской Федерации на полезную модель №141494 МПК (2006.01) F21S 8/00. Светодиодное осветительное устройство // Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт / Ю.Є. Николаенко, Б.М. Рассамакін, С.М. Хайрнасів, В.Ю. Кравец. – 8 с.; Опубл. 10.06.2014. Бюл. №16 Заявка 2013157699/07 от 24.12.2013.

- australian Provisional Patent Application No. 2013901232 // Combined Photovoltaic-Thermal Collector Based on Aluminium Heat Pipes for Solar HVAC / Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Yakov Elgart, Mykhailo Dusheiko, Andrii Rassamakin, Gennady Frolov. – 1 p.; 10 April, 2013.

## **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Огляд теплообмінного обладнання для функціонування в середньотемпературному діапазоні, яке виробляється у світі показує, що існують спроби утилізації високотемпературної теплоти. Відоме використання установки, створеної на АТ «Мотор Січ» (м. Запоріжжя), що дозволяє використовувати теплоту викидних потоків газів високої температури для забезпечення гарячою водою населених пунктів, які знаходяться поруч з газовими магістралями. Провідними компаніями з цього напрямку також є «General Electric», «Ariel Corporation» (США), «Siemens AG» (Німеччина), «Braeside Fabricators» (Канада), ОАО «НПО Искра», ЗАО «НИИ Турбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», ООО "Энерготех" (Росія), ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» (Україна), ДП НВКГ «Зоря - Машпроект» (Україна). Але на сьогоднішній день немає рішення для перетворення високотемпературної теплоти викидних потоків газів в електричну енергію. У випадку, якщо станції знаходяться далеко від населених пунктів, ніякі способи утилізації теплоти викидних газів не використовуються взагалі і вони викидаються з температурою 300°C – 500 °C.

## **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Теплоутилізаційна установка, що базується на 60-ти середньотемпературних термосифонах з термоелектричними генераторами спроможна виробляти до 61320 кВт • ч енергії. Орієнтовна вартість окремого термосифона, якщо його виробляти в промислових масштабах дорівнює 460 грн. за одинцю. Загальна вартість установки може бути сформована лише після проведення її детальної конструкційної розробки та інтеграції в існуючу схему газоперекачувального агрегату. Але головною метою використання цієї теплоутилізаційної системи є забезпечення автономності, та запобігання випадків відключення основного джерела живлення обладнання газоперекачувальної станції. Призупинення або відказ роботи окремого обладнання може привести к значним економічним збиткам пов'язаним з перебоями з постачанням природного газу, чи з заміною або ремонтів обладнання, що вийшло з ладу.

Парк газоперекачувальних агрегатів в Україні налічує 702 одиниць, загальною потужністю 5440 МВт. Вони розміщені на 71 компресорній станції, у складі яких знаходиться 108 компресорних цехів. Питання про необхідність оновлення ГТС ставилося давно. Ще в затвердженій урядом у 2009 році Концепції розвитку, модернізації і переоснащення ГТС зазначалося, що технологічне обладнання морально і фізично застаріло, газоперекачувальні агрегати (ГПА) компресорних станцій працюють неефективно та більшість з них потребує модернізації. Це близько 70% загальної довжини газопроводів і близько 80% ГПА компресорних станцій.

Інвестиційна привабливість полягає у виробництві ефективних конструкцій термосифонів для теплообмінного обладнання, що працює в середньотемпературному

діапазоні. Використання такого роду теплообмінників в заходах по підвищенню енергоефективності та надійності мають великі переваги та перспективи провадження. Модернізація та переоснащення ГТС – це великий інфраструктурний проект, що має на меті підвищення енергонезалежності та енергобезпеки України. В ньому зацікавлена не тільки наша країна, але й Європейський Союз, метою якого є забезпечення надійності поставок газу. Як приклад, компанія «Укртрансгаз», що є оператором вітчизняної газотранспортної системи, заплатить німецькому концерну Ferrostaal Industrieanlagen GmbH 51 369 000 євро за реконструкцію компресорної станції «Бар» магістрального газопроводу «Союз». А сумарний орієнтовний обсяг інвестицій для модернізації та реконструкції ГТС, за даними уряду, становить \$ 2,57 млрд.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Розробка може застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: в хімічній, нафтовій та газовій промисловостях, в металургійній промисловості; в атомній енергетиці; в системах тепло та електрозабезпечення; в технологічних системах та установках, що використовують теплообмінні процеси в інших різних галузях промисловості. Потенційні користувачі: інститут термоелектрики НАН та МОН України, ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» (м. Суми), ПП Науково-впроваджувальна фірма ТЕПЛОВІ ТЕХНОЛОГІЇ (м. Київ) та ін.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблені та виготовлені діючі макетні зразки середньотемпературного термосифону, як елементу теплообмінного обладнання, та модулю установки утилізації теплоти викидних потоків газів з температурою від 300 до 400 °С, відпрацьовані відповідні технології і розроблені рекомендації щодо їх проектування та застосування. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю будуть адаптовані до існуючого обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати роботи використані в інституті термоелектрики НАН та МОН України, та у перспективі можуть бути використані на підприємствах ТОВ «Ефектпроф» (м. Київ), ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе» (м. Суми), ПП Науково-впроваджувальна фірма ТЕПЛОВІ ТЕХНОЛОГІЇ (м. Київ), які займаються розробкою, виготовленням та впровадженням теплообмінного обладнання, енергоефективних і теплоутилізаційних систем. Окремі елементи, такі як середньотемпературні термосифони можуть бути впроваджені, як елементи теплообмінного обладнання, що працює при температурах до 400°С. Проведені успішні випробування макету модулю установки утилізації теплоти в НТУУ «КПІ», що підтверджують їх доцільність.

#### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

НТУУ"КПІ", теплоенергетичний факультет, кафедра атомних електростанцій та інженерної теплофізики

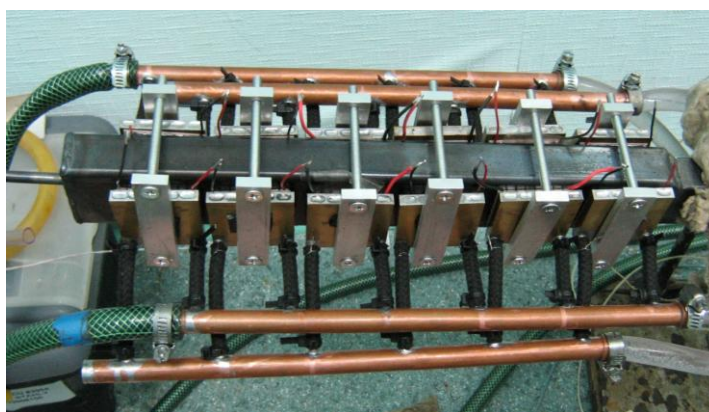
т. 4068366, [office@lab-hp.kiev.ua](mailto:office@lab-hp.kiev.ua)



Макет середньотемпературного термосифону



Макет середньотемпературного термосифону з оребренням



Макет модулю установки утилізації теплоти викидних потоків газів

## **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

1. С.М. Хайрнатов, Б.М. Рассмакин, Е.В. Быков. Исследование тепловых режимов среднетемпературного термосифона для систем утилизации теплоты уходящих газов с температурой более  $400^{\circ}\text{C}$  // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №1. – С. 89-95.

2. М.В. Серко, В.И. Мариненко, В.А. Рогачев, С.М. Хайрнатов. Экспериментальні дослідження теплообмінника на основі теплових труб, Технологічний аудит та резерви виробництва, 2014, №.3/2(17).

3. Хайрнатов С.М., Рассмакин Б.М., Рассмакин А.Б. Применение алюминиевых тепловых труб в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры. XV Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии». 26-30 мая, 2014, Одесса, с. 8-11.

4. Хайрнасов С.М. Эффективность использования алюминиевых тепловых труб в конструкциях солнечных коллекторов // Економічна безпека держави: стратегія, енергетика, інформаційні технології. – Монографія за науковою редакцією д.т.н., проф. Лук'яненко С. О., к.е.н., доц. Караєвої Н. В. – 2014. – С. 282-292.

5. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak and Alyona Naumova. Buildings Facade Photovoltaic-Thermal Collectors based on Aluminum Heat Pipes, Journal of Civil Engineering and Architecture Research, 2014, Vol. 1, No.3, pp. 151 - 156.

6. Khairnasov, S. Analyzing the Efficiency of Photovoltaic-Thermal Solar Collector Based on Heat Pipes, Applied Solar Energy, 2014, Vol. 50, No.1, pp. 10 - 15.

7. Sergii Khairnasov, Volodymyr Voloshchuk, Andrii Zakovorotnyi, Dmytro Kozak. Economic Assessment of Solar Thermal Collectors Application for Building Facade Renovation, Journal of Advances in Building Energy Research, 2014, Vol. 1, No.2, pp.

8. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Vladilen Zaripov, Dmytro Kozak The Study of Heat-Engeneering Characteristics of a Solar Heat Collector Based on Aluminium Heat Pipes, Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No.4, pp. 225 -231.

9. Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Vladilen Zaripov, Andriy Rassamakin, Olga Alforova. Aluminium Heat Pipes Applied in Solar Collectors, Solar Energy, Serial No. 94, August 2013, pp. 145-154

10. Sergii Khairnasov, Boris Rassamakin, Rostyslav Musiy, Andrii Rassamakin. Solar Collectors of Buildings Facade Based on Aluminum Heat Pipes with Colored Coating, Journal of Civil Engineering and Architecture, Volume 7, No. 4 (Serial No. 65), April 2013, pp. 403-409